M32-414

CANADA

MINISTÈRE DES MINES

HON. ES.-L. PATENAUDE, MINISTRE; R. G. MCCONNELL, SOUS-MINISTRE.

DIVISION DES MINES

EUGÈNE HAANEL, PH.D., DIRECTEUR.

RECHERCHES SUR LE COBALT ET SES ALLIAGES, FAITES À L'UNIVERSITÉ QUEENS, DE KINGSTON, ONTARIO, POUR LA DIVISION DES MINES, DU MINISTÈRE DES MINES.

CINQUIÈME PARTIE

LES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DU COBALT ET DU Fe_2Co.

PAR

Herbert T. Kalmus, B.Sc., Ph.D.

ET

K. B. Blake, B.Sc.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL
LIBRARY

OTTAWA
IMPRIMERIE DU GOUVERNEMENT
1917

N° 414

11/10/17 DON 8595625

CANADA

MINISTÈRE DES MINES

HON. ES.-L. PATENAUDE, MINISTRE; R. G. MCCONNELL, SOUS-MINISTRE.

DIVISION DES MINES

EUGÈNE HAANEL, PH.D., DIRECTEUR.

RECHERCHES SUR LE COBALT ET SES ALLIAGES, FAITES À L'UNIVERSITÉ QUEENS, DE KINGSTON, ONTARIO, POUR LA DIVISION DES MINES, DU MINISTÈRE DES MINES.

CINQUIÈME PARTIE

LES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DU COBALT ET DU Fe_2Co.

PAR

Herbert T. Kalmus, B.Sc., Ph.D.

ET

K. B. Blake, B.Sc.

OTTAWA
IMPRIMERIE DU GOUVERNEMENT
1917

Nº 414

LETTRE D'ENVOI.

DR. EUGÈNE HAANEL,
DIRECTEUR DE LA DIVISION DES MINES,
MINISTÈRE DES MINES,
OTTAWA.

Monsieur,

J'ai l'honneur de vous transmettre ci-joint un rapport sur les "Propriétés magnétiques du cobalt et du Fe_3 Co." C'est la cinquième partie complète de la série des recherches sur le cobalt et ses alliages, faites dans le but d'augmenter leur utilité économique, et qui ont été l'objet de travaux particuliers, accomplis sous ma direction à l'université Queens de Kingston, Ontario, pour la Division des Mines, du Ministère des Mines, à Ottawa.

J'ai l'honneur d'être,
Monsieur,
Votre obéissant serviteur,
(*signé*) **Herbert T. Kalmus.**

1er février 1916.

AVIS

Cet ouvrage est une traduction du rapport nº 413 publié en anglais dans l'année 191

MINISTÈRE DES MINES

HON. P.-E. BLONDIN, MINISTRE; R.-G. MCCONNELL, SOUS-MINISTRE;

Division des Mines

EUGÈNE HAANEL, PH.D., DIRECTEUR.

TABLE DES MATIÈRES.

PAGES

Introduction 1
Perméabilité magnétique et hystérésis du cobalt pur 3
Matière employée 3
Préparation du barreau 3
Méthode I 3
Appareil 3
Machine d'expérimentation 3
Mesurages de voltage 4
Diagramme électrique 5
Mesurages de vitesse 5
Procédé 6
Mesurages pour la courbe B—H 6
Mesurages pour la boucle d'hystérésis 6
Données primitives 6
Constantes de l'appareil 6
Relevés du fil mobile 6
Courbe B—H pour le cobalt pur 7
Relevés et calculs 7
Boucle d'hystérésis pour le cobalt pur 7
Relevés et calculs 7
Diamètre du barreau 7
Relevés en centimètres 8
Calculs 8
Résultats 8
Analyse des résultats 9
Perméabilité magnétique et hystérésis du cobalt pur 10
Méthode II 10
Introduction 10
Matière employée 10
Préparation du barreau 10
Méthode 10
Appareil 10
Procédé pour les expériences sur la perméabilité 12
Procédé pour les essais d'hystérésis 13
Calibrage du galvanomètre balistique 14
Méthode pour déterminer les résultats 14
Formule 14
Signification des signes conventionnels 15
Données des expériences de perméabilité 15
Barreau de cobalt No. 1, H. 217 15
Mesurages et supputation des calculs 15
Données des expériences d'hystérésis 15
Échantillon de cobalt nº 1 16
Signification des signes conventionnels 16
Valeurs supputées 16
Mesurages de perméabilité et d'hystérésis faits par l'American Rolling Mill Co. 17
L'Alliage Fe^2Co 17
Description des expériences de Kingston 17
Allusion aux expériences de Weiss de Zurich 17
Allusion aux expériences de Yensen, Université d'Illinois 18
Sommaire et conclusions 19

ILLUSTRATIONS.

Photographie.

Planche I. Machine d'expérimentation 4

Dessins.

Fig. 1. Diagramme montrant les pointes en ferro-cobalt des pôles 2
„ 2. Coupe transversale de la machine d'expérimentation 4
„ 3. Diagramme montrant les connexions électriques pour la machine d'expérimentation 5
„ 4. Courbe B—H pour le cobalt pur 8
„ 5. Boucle d'hystérésis pour le cobalt pur 8
„ 6. Connexions pour l'essai de perméabilité 11

			Pages
Fig.	7.	Connexions pour expériences d'hystérésis	13
"	8.	Courbe B—H pour le cobalt pur	14
"	9.	Boucle d'hystérésis pour le cobalt pur	16
"	10.	Courbe B—H pour le cobalt pur	16
"	11.	Boucle d'hystérésis pour le cobalt pur	16
"	12.	Courbes magnétiques	16
"	13.	Courbes magnétiques	16

RECHERCHES SUR LE COBALT ET SES ALLIAGES. FAITES À L'UNIVERSITÉ QUEENS, DE KINGSTON, ONTARIO, POUR LA DIVISION DES MINES, DU MINISTÈRE DES MINES.

CINQUIÈME PARTIE.

LES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DU COBALT ET DU Fe_2Co.

LES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DU COBALT ET DU Fe_2Co.

INTRODUCTION.

Ce rapport est le cinquième d'une série de recherches sur le métal de cobalt et ses alliages, dans le but d'augmenter leur utilité commerciale.

Ces recherches sont faites à l'École des Mines de l'université Queens, de Kingston, Ontario, pour la Division des Mines, du Ministère des Mines du Canada. Les divers rapports de la série, déjà publiés, sont les suivants:

I. "La préparation du cobalt métallique par réduction de l'oxyde," Rapport nº 251, Division des Mines, du Ministère des Mines, Canada, 1913; Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 1914, vol. VI, pp. 107-116.

II. "Les propriétes physiques du cobalt métallique," Rapport nº 309, Division des Mines, Ministère des Mines, Canada, 1915; Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 1915, vol. VII, pp. 6-17.

III. "La galvanoplastie au cobalt," Rapport nº 334, Division des Mines, Ministère des Mines, Canada, 1915; Transactions American Electrochemical Society, 1915, vol. XXVII, pp. 75-130; Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 1915, vol. VII, pp. 379-399.

IV. "Alliages de cobalt non-corrosifs." Rapport nº 411, Division des Mines, Ministère des Mines, Canada, 1916.

Au début de nos recherches sur le cobalt, en décembre 1912, des barreaux d'alliage de ferro-cobalt, approchant de la composition Fe_2Co, furent coulés par nous à ce laboratoire. La perméabilité magnétique des barreaux fut soumise à l'épreuve d'après la méthode I, décrite plus loin; les premières expériences montrèrent que ce composé avait une capacité de saturation magnétique très élevée.

La coulage des barreaux, exempts de soufflures, présenta une grande difficulté; il nous apparût cependant que des barreaux, d'un coulage plus compact, auraient une capacité de saturation magnétique de cinq à dix pour cent plus grande que celle du fer mou aux températures ordinaires.

Au cours de nos expériences sur le coulage des barreaux de ce genre, apparut une étude du professeur Pierre Weiss[1], établissant que le ferro-cobalt Fe_2Co possède une saturation magnétique de 10% plus grande que celle du fer aux températures ordinaires. Du fer suédois et 98·5% de cobalt industriel pur furent coulés dans la composition Fe_2Co, et deux échantillons de cet alliage donnèrent respectivement 9·0% et 9·7% de pouvoir magnétique plus grand que celui du fer suédois pur. Le lingot qui donna 9% était le plus compact et servit à couler les pôles d'un électro-aimant. Ces pôles ne purent être faits entièrement de cet alliage, faute de matière première, de sorte que les bouts seuls étaient de ce composé, comme l'indique la figure I.

[1] Ferro-Cobalt, Pierre Weiss, Comptes Rendus, juin 1913, pp. 1970.

Le champ obtenu par ces pôles, et par d'autres de fer suédois exactement de même forme, fut mesuré, et, dans chaque cas, le surplus de pouvoir magnétique du ferro-cobalt était de cinq pour cent.

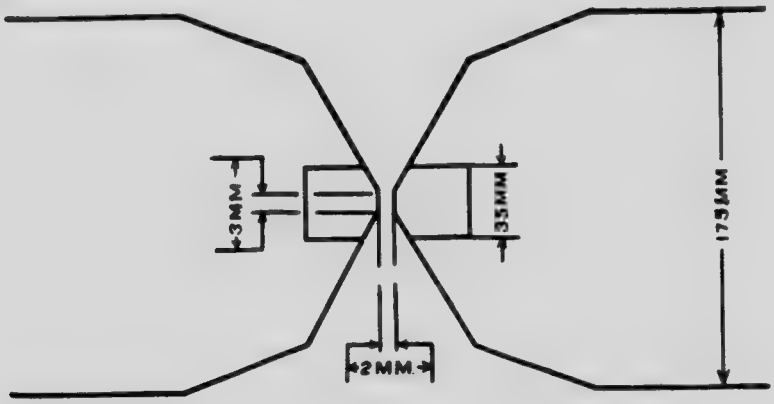


Fig. 1

Diagramme montrant les pointes en ferro-cobalt des pôles.

Ces résultats, de même que nos propres expériences préliminaires, nous portèrent à conclure que l'alliage Fe_2Co valait bien d'être analysé avec quelque soin.

En dépit du fait qu'une grande somme de travail a déjà été fait sur les propriétés magnétiques du cobalt pur, nous avons conclu que de nouveau mesurages pourraient bien différer de ceux que l'on trouve dans la littérature existante, étant donnée la plus grande quantité de cobalt réellement pur aujourd'hui à notre disposition, et que n'avaient pas la plupart des expérimentateurs. Nos mesurages de perméabilité et d'hystérésis pouvaient donc être faits dans des conditions moins spéciales.

Ce rapport ne couvre que les mesurages des propriétés magnétiques du cobalt et de l'alliage Fe_2Co, pris dans les conditions normales d'un laboratoire commercial, et ne comprend point les variations de la puissance magnétique par la température, les points de transformation, les changements de volume avec les changements de l'influx magnétique, etc., etc. Nous avons pris un intérêt tout particulier à établir si oui ou non le composé Fe_2Co pouvait être facilement coulé, exempt de soufflures et d'autres défauts, de manière à posséder une perméabilité magnétique plus grande que celle du fer doux suédois, comme le démontrèrent nos premières expériences et celles du professeur Weiss. Comme base de notre expérimentation, nous avons d'abord étudié les propriétés magnétiques du cobalt lui-même que nous avions préparé en assez grande quantité, et dont nous nous servîmes pour la préparation de ces alliages.

PERMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE ET HYSTÉRÉSIS DU COBALT PUR.

Matière employée.

Le cobalt métallique pur, employé dans ces expériences, fut préparé à ce laboratoire, d'après la méthode décrite dans le premier rapport de cette série.[1] En voici l'analyse:—

	Analyse I	*Analyse II*
Cobalt	99·60%	99·55%
Fer	0·334	0·340
Silice	0·097	0·097
Carbone	0·122	0·129
Phosphore	0·0046	0·0048
Soufre	0·020	0·020
Aluminium	0·016	0·016
Nickel	aucun	aucun
Calcium	aucun	aucun
	100·194%	100·157%

Préparation des barreaux.

Une charge d'environ cinq livres, de la composition ci-dessus, fut mise dans un creuset en graphite, garni de magnésite, et fondue dans un fourneau électrique à résistance de Hoskins.[2] On laissa tremper cette fonte durant quarante cinq minutes, à une température variant de cinq à dix degrés au-dessus du point de fusion, après quoi, deux grammes d'aluminium pulvérisé très fin furent ajoutés au mélange pour en dégager tous les gaz. Cette mixture, que l'on agita légèrement pour bien assurer l'action de l'aiuminium, fut versée dans un moule en fer d'un pouce de diamètre à l'intérieur et de 18 pouces de long. Le moule avait d'abord été chauffé pour en chasser toute humidité. Après avoir été refroidi lentement dans le moule, le barreau fut dégrossi au tour à quelques millièmes de pouce du volume requis. Avant de le finir, on le chauffa plusieurs heures à 500°C. Finalement il fut passé au tour et réduit aux dimensions requises comme il est démontré plus bas.

MÉTHODE I.

La première série des mesurages fut faite dans ce laboratoire selon une méthode rapide, telle que détaillée plus loin.

Appareil.

L'appareil pour le mesurage de la perméabilité magnétique et de l'hystérésis comprend deux parties principales: la présente machine d'essai, décrite plus bas, et un appareil pour déterminer le voltage induit.

Machine d'expérimentation.

Cette machine est simplement un générateur électrique bipolaire, dans lequel l'échantillon d'experimentation fait partie du circuit magnétique, directement en connexion avec un moteur de 0·1 H.P. 110 volts D.C. Les détails du générateur sont montrés dans la Fig. 2.

[1] Préparation du Cobalt métallique par la réduction de l'oxyde, Herbert T. Kalmus, Bulletin nº 259, Canada, Min. des Mines, 1913.

[2] Le fourneau a été décrit dans "Préparation du cobalt métallique par réduction de l'oxyde," Herbert T. Kalmus, Bulletin nº 259, Canada, Ministère des Mines.

Le moteur fait tourner l'armature à une vitesse de 1,800 R.P.M., environ. On établit le champ magnétique en passant un courrant par la bobine magnétique autour de l'échantillon d'essai S. Le voltage induit est

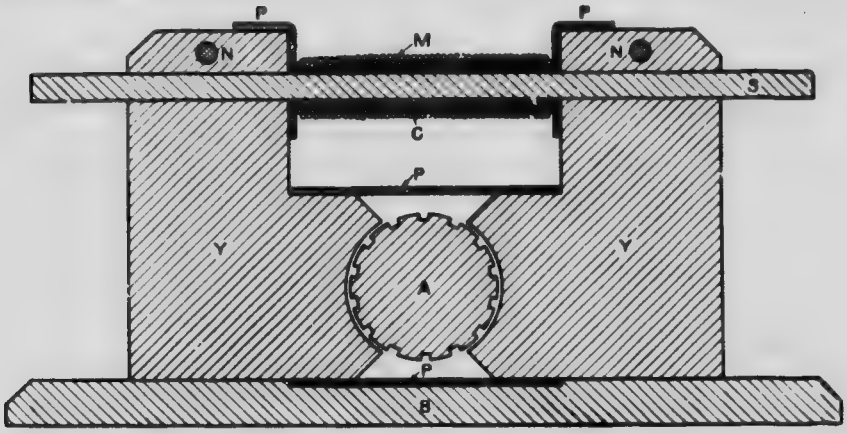


Fig. 2

A —Armature	N —Chevilles d'appui
B —Base en bois	P —Plaques de cuivre
C —Centre de bobine	S - -Echantillon d'essai
M—Bobine magnétique	Y —Bâti en fer doux

Fig. 2. Coupe transversale de l'appareil.

mesuré à travers les peignes, reposant sur le commutateur. L'échantillon S est façonné de manière à bien s'adapter à la bobine magnétique.

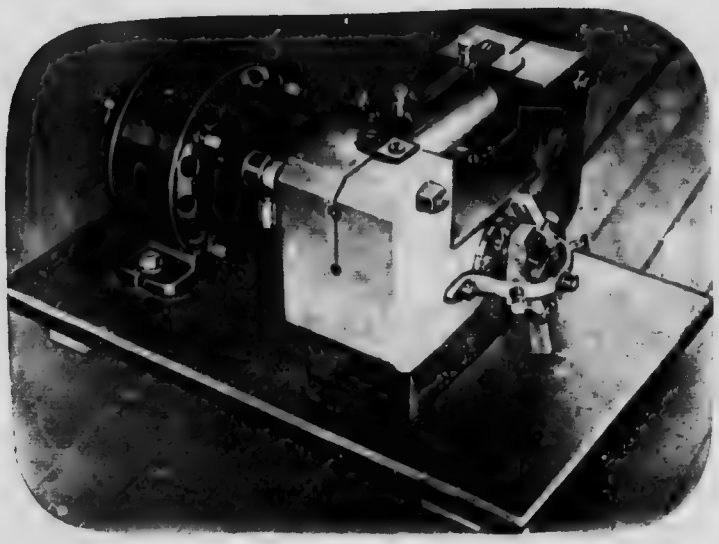
La planche I montre l'aspect général de la machine d'expérimentation.

Mesurages de voltage.

Pour travail ordinaire d'utilité commerciale un voltmètre à petite échelle suffit à mesurer le voltage induit. Le relevé manque sans doute d'exactitude, par suite de la baisse de I R dans l'armature et les peignes. Pour éviter cette erreur, le voltage induit est mesuré d'après la méthode de neutralité. Un simple circuit de potentiomètre est établi comme le montre le diagramme des connexions, fig. 3.

Le pont à glissière W est tenu en connexion avec un circuit de deux volts fourni pa des piles d'accumulation. Le degré exact de ce voltage était déterminé au moyen de piles d'étalonnage (St'd) avant et après chaque opération. L'interrupteur C fut placé dans le circuit, de manière à ce qu'il fut possible de mesurer, soit le voltage inconnu ou celui de la pile-étalon sans déranger aucunes connexions. On détermina le point nul en se servant d'un milli-volmètre V, dont le point zéro est au centre de l'échelle, se chiffrant dans chaque direction jusqu'à dix milli-volts.

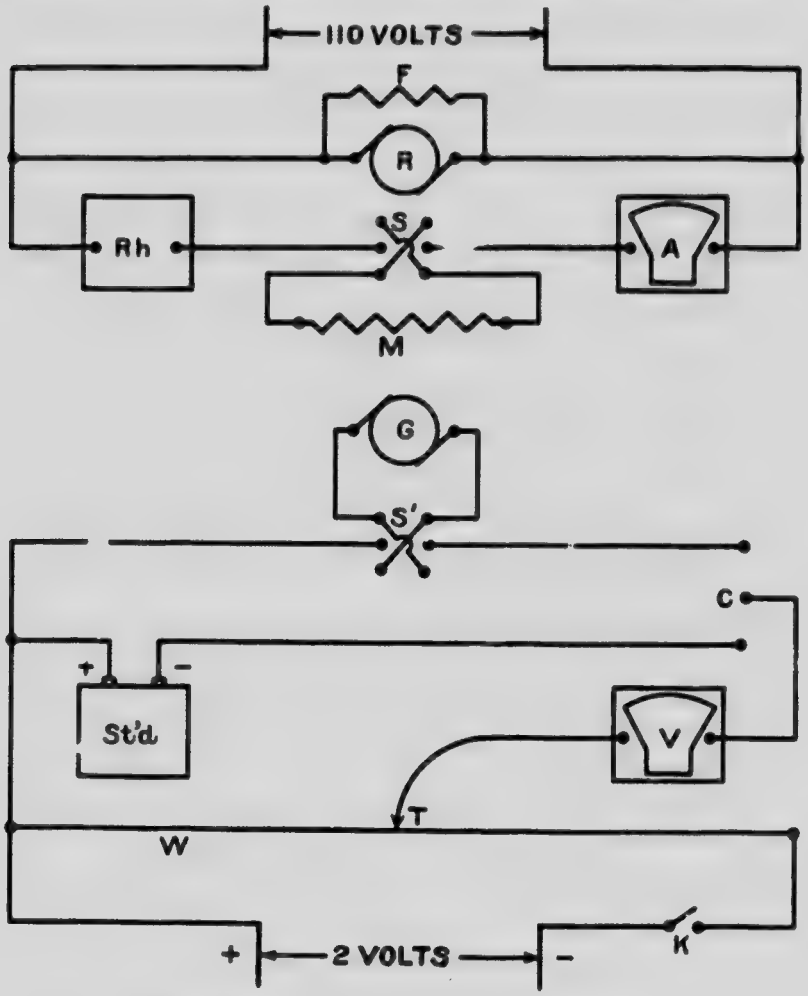
PLANCHE I.



Machine d'expérimentation.

Diagramme électrique.

La figure 3 fait voir les connexions électriques de l'appareil entier.



M —Bobine magnétique
R —Armature du moteur
S,S' —Interrupteurs reversibles
St'd —Pile-étalon
T —Contact en glissière
W —Fil du potentiomètre
V —Milliovoltmètre
Rh —Rhéostat
C —Commutateur
A —Ammètre
K —Interrupteur
G —Générateur
F —Champ du moteur

Fig. 3. Diagramme des connexions.

Mesurages de la vitesse.

La vitesse de l'armature fut mesurée au moyen d'un tachomètre du genre centrifuge.

PROCÉDÉ.

Mesurages pour la courbe B-H.

Le moteur dirigeant est mis en action en jetant l'interrupteur sur le circuit de 110 volts. L'interrupteur K est alors fermé, permettant au courant potentiomètre dans le pont de fil mobile W. L'interrupteur C est jeté dans le côté, réunissant la pile-étalon avec le pont W. On glisse alors le point de contact mobile jusqu'au point nul du milli-voltmètre et l'on prend note de cette position en centimètres, à partir de la gauche du fil. Ceci nous donne la valeur exacte du voltage du circuit du potentiomètre (pile de 2 volts). L'interrupteur C est alors renversé, et le circuit de nouveau balancé, c'est-à-dire, le voltage générateur mesuré dans les termes du voltage du potentiomètre. Si ce voltage générateur n'est pas zéro, cela montre que le barreau a retenu une certaine quantité de résidu magnétique. Cela est sans doute vrai parce qu'à ce moment, il n'y a pas de courant magnétique autour de l'échantillon S. Ceci est dissipé en appliquant momentanément une force magnétique dans la direction inverse. Le barreau étant démagnétisé, tout est prêt pour une expérience complète.

Le rhéostat Rh est jeté dans sa position de plus grande résistance, et l'on fait simultanément les mesurages du courant magnétique, de la vitesse de rotation de l'armature, et de la position du point de contact mobile au point nul du mili-voltmètre.

On avance alors le rhéostat au point suivant, en prenant les mêmes mesures. L'on procède ainsi jusqu'à ce qu'on obtienne la force magnétique désirée.

Mesurages pour la boucle de l'hystérésis.

Le courant magnétique est avancé par degrés jusqu'au maximum de sa valeur positive. On prend les relevés comme ci-devant. Le courant est alors réduit d'un degré, et de semblables relevés annotés. L'on continue le même procédé, depuis la valeur positive maximum du courant magnétique, jusqu'à sa valeur négative maximum, en relevant le courant à son maximum positif, avant de l'abaisser à la valeur requise. Le courant peut être renversé en changeant la position du l'interrupteur S. Lorsque le voltage réduit change sa direction, l'interrupteur S doit être renversé de manière à obtenir l'équilibre sur le pont de fil mobile.

DONNÉES PRIMITIVES.

Constantes de l'appareil.

Pile-étalon	=	1·019 volts
Tours magnétiques sur M	=	105
Longueur de M	=	12·59 cm
Conducteurs sur A	=	418

Relevés du fil mobile.

Pile-étalon contre un potentiomètre de 2 volts e.m.f

Avant l'opération	32·82 cm
Après l'opération	32·80 cm.

Ce qui montre que la pile de deux volts n'a pas sensiblement varié durant cette série de mesurages.

Dans les tables qui suivent les lettres symboliques ont les diverses significations suivantes:—

N = Révolutions de l'armature par minute.
I = Courant magnétique en ampères.
l = Relevés du fil mobile en cms.
E = e.m.f. induit dans le générateur.
B = Densité de l'influx en gauss.
H = Gilberts de l'intensité du champ magnétique par cm.
μ = Perméabilité magnétique en unités c.g.s.

COURBE B—H POUR LE COBALT PUR. Voir Plan, Fig. 4.

Échantillon H 217 barreau N° 2.

	Relevés		*Calculs*			
N	I	l	E	B	H	μ
1900	0·71	1·31	0·0469	286	7·4	38·4
1900	1·04	2·89	0·0898	547	10·9	50·1
1900	2·19	9·82	0·3052	1858	23·0	80·9
1910	3·20	13·32	0·4140	2509	33·6	74·8
1910	4·09	15·69	0·4875	2954	42·9	68·9
1905	4·93	17·69	0·5495	3337	51·7	64·6
1910	6·60	20·99	0·6523	3952	69·2	57·1
1920	7·49	23·16	0·7200	4335	78·6	55·2
1920	9·20	25·17	0·7822	4712	96·5	47·1
1915	10·52	28·39	0·8824	5325	110·3	48·3

Série d'observations

N	I	l	E	B	H	μ
1905	0·88	3·40	0·1056	641	9·2	59·4
1920	2·20	9·35	0·2904	1748	23·1	75·8
1930	3·25	13·11	0·4071	2438	34·1	71·6
1920	4·10	15·60	0·4842	2917	43·0	67·8
1915	4·95	17·64	0·5475	3304	51·9	63·7
1905	6·55	20·88	0·648	3931	68·7	57·3
1920	7·40	23·30	0·724	4359	77·6	56·2
1930	9·10	25·06	0·784	4693	95·4	49·2
1925	0·40	27·12	0·842	5053	109·1	46·3

BOUCLE D'HYSTÉRÉSIS DU COBALT PUR. Voir plan, fig. 5.

Bobine-étalon contre circuit de 2 volts.

Avant l'opération..... 32·75 cm.
Après l'opération..... 32·75 cm.

Échantillon H 217, Barreau N° 2.

	Relevés		*Calculs*		
N	I	l	E	B	H
1900	6·88	20·58	0·6405	3900	72·2
1920	6·08	19·45	0·6053	3705	63·8
1915	5·05	17·86	0·5560	3355	53·0
1920	4·10	16·42	0·5109	3078	43·0
1925	2·96	14·43	0·4492	2697	31·0
1925	2·00	12·38	0·3851	2312	21·0
1945	1·06	9·85	0·3065	1822	11·1
1930	0	6·24	0·1942	1163	0·0

Courant magnétique renversé					
	Relevés		*Calculs*		
1930	1·04	0·24	0·0075	45	10·9
			Direction du magnétisme renversée		
1945	2·07	5·57	0·1734	1030	21·7
1940	3·00	9·19	0·2859	1702	31·5
1950	3·96	11·95	0·3769	2265	41·6
1950	4·97	14·24	0·4432	2627	52·2
1945	5·95	16·41	0·5107	3070	62·4
1950	6·65	17·82	0·5544	3288	69·8

Diamètre du barreau.

Les mesures suivantes de diamètre furent pr ses au moyen d'un calibre micromètre de Starret se lisant di ectement aux millièmes d'un centimètre, et par calcul aux dix-millièmes.

Relevés en centimètres.

1·2565	1·2572	1·2555	1·2566	1·2571
1·2570	1·2580	1·2589	1·2578	1·2593
1·2580	1·2564	1·2575	1·2568	1·2565
1·2562	1·2571	1·2571	1·2580	1·2573

Valeur moyenne = 1·2572 centimètres.

CALCULS.—

La valeur magnétique fut calculée d'après la formule usuelle électro-magnétique $H = \frac{4\ Kni}{l}$ dans laquelle H est la force magnétigue; n, le nombre de tours sur la bobine; i, le courant en ampères; et l, la longueur de la bobine en centimètres. Substituant les données constantes de l'appareil dans cette équation nous obtenons:

H en gilberts par cm. = 10·48 I en ampères.

L'équation pour calculer l'influx magnétique est l'équation fondamentale du générateur.

$$E = \frac{n\ P\ \varnothing\ N}{P' \times 10^8} \text{ volts,}$$

dans laquelle E représente le voltage induit; n, les révolutions par seconde; p, le nombre de pôles du champ; $\varnothing$, l'influx magnétique en maxwells; N, le nombre de conducteurs sur l'armature; et P', le nombre de conduits parallèles dans l'armature. En donnant à ces quantités leurs valeurs propres et en substituant pour $\varnothing$, la densité de l'influx B, autant de fois la surface transversale de l'échantillon, l'on trouve que B en gauss =

$$1{\cdot}156\ \frac{E}{N} \times 10^7$$

E est le voltage induit, et N, les révolutions par minute.

RÉSULTATS.—

Les courbes dessinées dans les figures 4, et 5 font mieux voir les résultats des données ci-dessus.

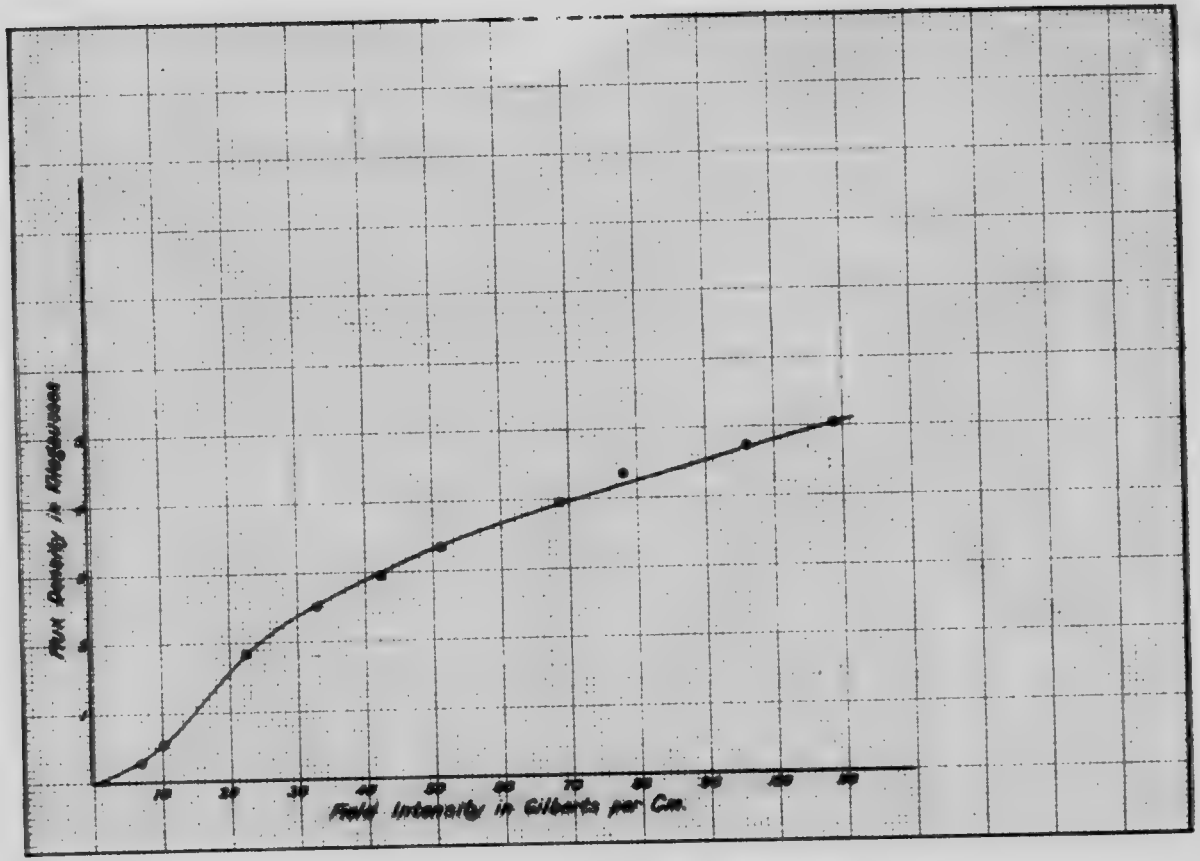


Fig. 4. B-H Curve for Pure Cobalt - Sample H 217

Fig. 4. Courbe B—H du Cobalt pur, Échantillon H 217.

193

194
19
19
19
19
19

r
c

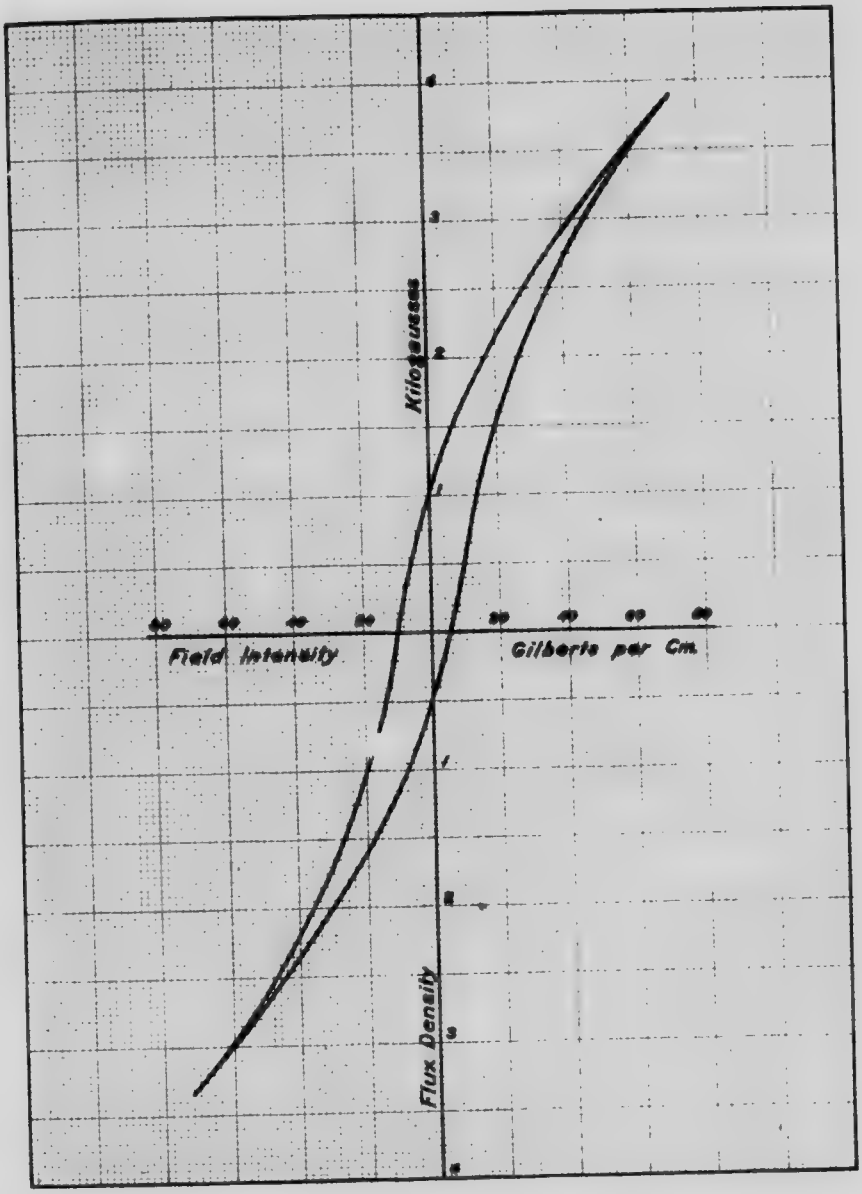


Fig. 5. Hysteresis Loop for Pure Cobalt - Sample H 217

Fig. 5. Boucle d'hystérésis du Cobalt pur, Échantillon H 217.

ANALYSE DES RÉSULTATS.—

Les résultats obtenus par cette méthode ne sauraient être considérés corrects à raison de plus de un ou deux pour cent. La cause principale de l'erreur repose dans la présomption que la résistance du résidu du circuit magnétique est quantité négligeable en comparaison de celui de la pièce d'essai. Cela est vrai du bâti en fer, mais ne l'est probablement pas de la couche d'air autour de l'armature. Une autre cause d'erreur, c'est la présomption de la perte de l'influx dans la couche d'air comme étant aussi quantité négligeable. Les relevés du courant magnétique et de la vitesse ne sont pas certains à plus de une demie de un pour cent.

PERMÉABILITÉ MAGNÉTIQUE ET HYSTÉRÉSIS DU COBALT PUR.

MÉTHODE II.

Introduction.

La perméabilité magnétique et la boucle d'hystérésis d'un échantillon de cobalt pur, préparé à ce laboratoire, furent mesurées par Mr Carl Schurig, du département de l'électricité, du Massachusetts Institute of Technology. Les relevés ont été pris avec grand soin sur un appareil très précis décrit plus bas.

Matière employée.

Le barreau de cobalt, servant d'échantillon, était de la même fonte que celui employé par la méthode I. Par conséquent, la préparation et l'analyse sont identiques à celles que l'on a décrites plus haut.

Préparation du barreau.

Comme le barreau servant à cette expérience était de la même fonte que celui de la première expérimentation, les détails de la préparation sont identiques, à l'exception du moule qui était d'un demi pouce carré, sur neuf pouces de long. Les dernières dimensions du barreau furent de un quart de pouce en diamètre et sept pouces et demi en longueur.

Méthode.

La méthode et l'appareil employés dans le mesurage de la perméabilité et l'hystérésis des barres de cobalt furent basés sur l'ouvrage de C. W. Burrows du U. S. Bureau of Standards, décrit dans "Reprint No. 117" du U. S. Bureau of Standards, intitulé "The Determinations of the Magnetic Induction in Straight Bars." La principale difficulté dans l'épreuve des barres droites de peu de longueur, selon la première méthode, est due au fait que le matériel d'essai ne contient pas seul la résistance totale du circuit magnétique, et que, par conséquent, il faut tenir compte de la résistance des bâtis qui complètent le circuit magnétique. Dans la méthode Burrows, on y arrive en appliquant un enroulement compensateur, qui est alors placé près des bâtis, indépendant du principal circuit magnétique, et dans lequel une force magnétomotive est produite suffisante pour vaincre la résistance des bâtis. Cela fait, il n'y aura point de perte de l'influx, et la force magnétique le long du barreau peut être calculée des passes de courant de la proncipale bobine magnétique, uniformément enroulée autour du barreau d'essai entre les bâtis. Le changement de densité de l'influx passant dans le spécimen, dû au changement dans la force magnétique, est constaté en mesurant la quantité d'électricité déplacée dans un circuit, contenant une bobine d'épreuve enroulée autour de la partie centrale du spécimen d'essai, quand le courant magnétique est subitement changé en une quantité connue.

Appareil.

La figure 6 fait voir les divers enroulements du circuit magnétique. Les bobines sont enroulées sur leux minces tubes fibreux, chacun d'un diamètre intérieur d'un quart de pouce et d'environ six pouces de long. Les bobines pour l'expérience sont directement enroulées sur les tubes, afin d'avoir peu à corriger du courant passant par la bobine d'essai, mais en dehors du spécimen d'expérimentation. La principale bobine d'épreuve

t, comprend 80 tours de fil de cuivre n° 28 "B et S gauge" recouvert de soie et s'enroule au milieu du tube C_1. Afin de constater l'uniformité de l'influx tout le long du barreau, placé dans le tube C_1. Afin de constater l'uni-

Perméamètre Burrows pour barres de $\frac{1}{4}'' \times 7\frac{1}{2}''$.

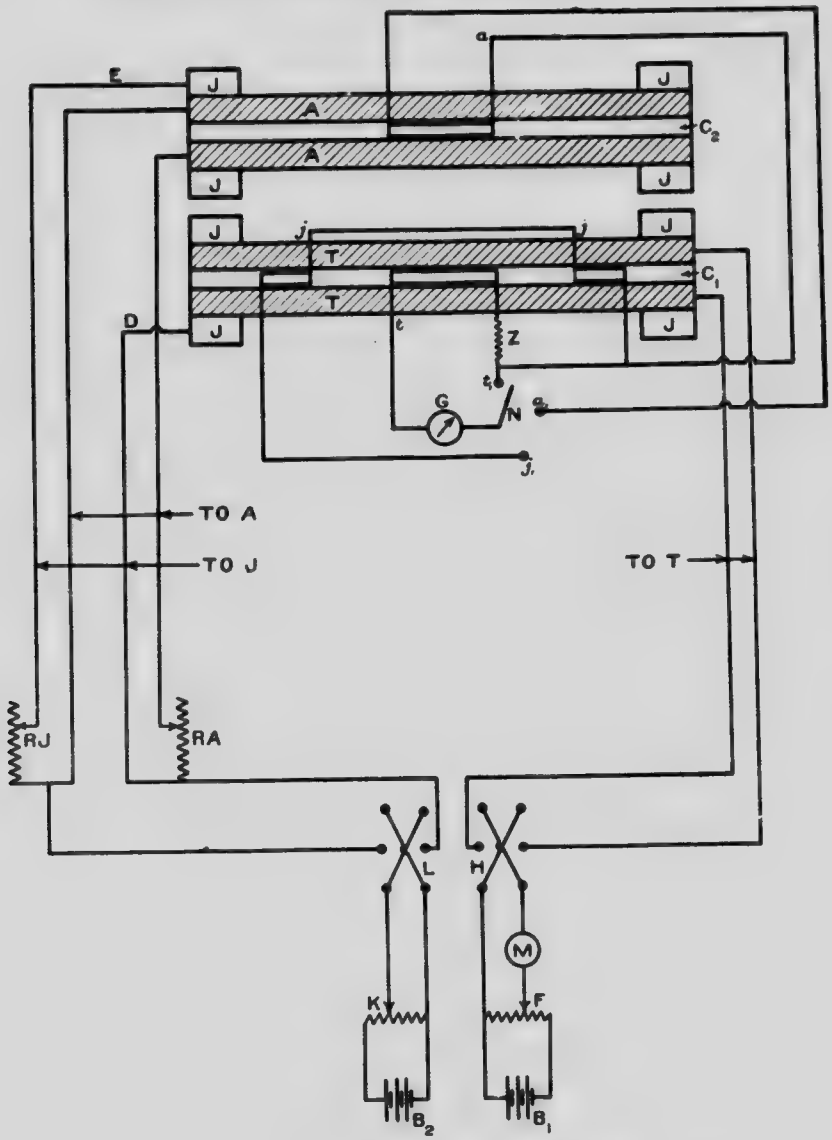


Fig. 6. Connexions pour essais de perméabilité.

formité de l'influx tout le long du barreau, placé dans le tube C_1 deux bobines d'épreuve à bouts égaux jj sont enroulées sur le tube C_1, chacune étant à peu près à mi-chemin entre la bobine principale t, et le bout du

tube, et chacune ayant 40 tours. Les bobines jj sont réunies aux séries d'appoint. Ainsi, l'influx le long du barreau d'épreuve sera uniforme, si en renversant la force magnétique, nulle quantité d'électricité n'est déplacée dans la série du circuit fermé contenant la bobine t reliée en opposition aux bobines jj. La bobine d'essai a, enroulée sur le tube contenant le barreau auxiliaire, est identique a l'enroulement t. Il suit de là que l'influx dans le barreau auxiliaire sera égal à celui du barreau d'essai, si en renversant les courants magnétiques, zéro quantité d'électricité est déplacée dans le circuit contenant les bobines t et a, reliées en opposition. La principale bobine magnétique pour le barreau d'essai est T; elle se compose de dix couches de fil de cuivre nº 19 "B et S gauge," recouvert de coton double, uniformément enroulé toute la longueur du tube. La bobine A pour la barre auxilaire est identique à la boine T. Les circuits A et T sont indépendants et les courants qu'ils portent sont réglés séparément, pour que deux barreaux de caractère magnétique inégal, puissent être employés dans une seule épreuve avec autant de facilité que deux barres identiques. Afin d'assurer l'uniformité de l'influx dans les barreaux, on emploie un circuit de compensation, comprenant quatre bobines égales J, sur les bouts des solénoïdes. Ces quatre bobines sont réunies en séries d'appoint, leur connexion n'apparaît point dans la figure 6; les aboutissants du circuit de ces quatre bobines de compensation sont représentés à D et E dans la figure 6. Le reste de l'appareil utilisé, tel que montré aux figures 6 et 7, est brièvement mentionné sous le titre de "Procédé."

Procédé pour les expériences sur la perméabilité (voir fig. 6.)

Le courant pour le principal circuit magnétique T est fourni par la batterie B_1 au moyen d'un fil tombant F, traversant l'ammètre de précision M, à l'interrupteur réversible K et de là à T. La batterie B_2 alimente le circuit magnétique auxiliaire A et tout le circuit de compensation J par le fil tombant K et l'interrupteur reversible L. Les interrupteur L et H sont assemblés de manière à agir simultanément. Les circuits A et J sont réglés indépendamment par les rhéostats Ra et RJ. Le circuit secondaire contient un interrupteur avec trois points de contact t_1, a_1, et j_1, de manière que la bobine t puisse être fermée par le galvanomètre balistique G, soit sur lui-même, ou par le circuit j.

Le spécimen d'essai, dans le solénoïde C_1, et le barreau auxiliaire, dans le solénoïde C_2, sont solidement fixés entre les bâtis de fer mou (non illustrés ici) lesquels sont rapporchés aussi prés que possible des bobines. Le circuit magnétique est démagnétisé en abaissant graduellement la force magnétique d'un point élevé, jusqu'à zéro au moyen des fils tombant F et K, et aussi en renversant simultanément les interrupteurs H et L dans la moyenne approximative de deux renversements à la seconde. On élève alors le courant magnétique du circuit T, de zéro à la valeur correspondante à la valeur la plus faible de la force magnétique désirée, en ajustant F et en observant M. Au moyen de K et de Ra le courant en A est ajusté jusqu'à ce que le renversement simultané de L et de H ne produise aucune déclinaison sur le galvanomètre balistique G, lorsque N est fermé au contact a_1. On ajuste alors RJ jusqu'à ce que le renversement simultané de L et H n'amène plus aucune déclinaison sur le galvanomètre, lorsque N est jeté en j_1. Avant de faire aucun relevé définitif d'aucun de ces ajustages, le matériel magnétisé est réduit à l'état magnétique cyclique au moyen de plusieurs renversements successifs de L et H après que l'ajustement final du courant a été fait, mais avant de prendre les relevés de l'uniformité de l'influx. Après s'être assuré de l'uniformité de l'influx, l'interrupteur N est relié à t, et la déclinaison balistique du galvanomètre est prise sur le renversement des interrupteurs

L et H. On fait aussi le relevé du courant sur M. Le courant passant par M est alors élevé à une valeur correspondant à la prochaine plus haute valeur de la force magnétique, à laquelle le degré de densité de l'influx magnétique doit s'élever dans le spécimen; et l'on répète le procédé ci-dessus. Afin de ne pas dévier de la courbe d'induction normale, tous les ajustements sont faits dans une direction montante, et le courant n'est pas diminué, excepté naturellement par un renversement complet.

Perméamètre de Burrows pour barres de $\frac{1}{4}'' \times 7\frac{1}{2}''$.

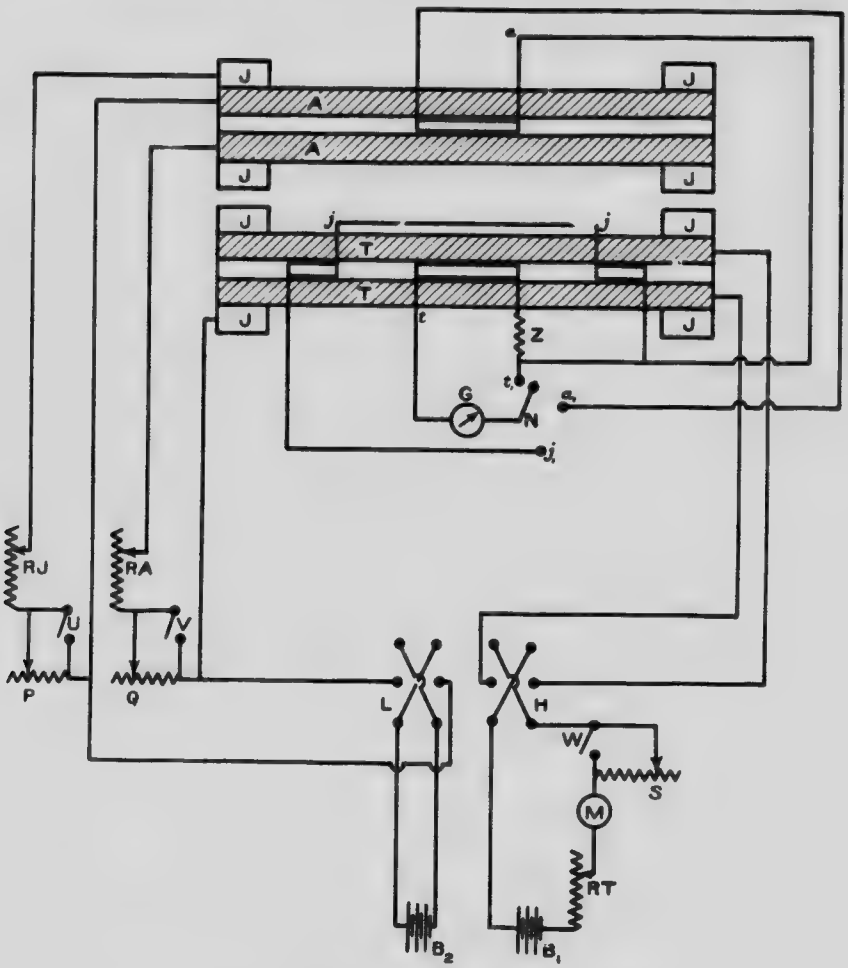


Fig. 7. Connexions pour expériences d'hystérésis.

Procédé pour expériences d'hystéresis (voir fig. 7.)

Pour rendre possible le mesurage du changement de l'induction dans le spécimen, lorsqu'à un degré quelconque la force magnétique est changée de son maximum à n'importe quel autre point de la boucle de l'hystérésis, on se sert des connexions qui apparaissent à la fig. 7. P, Q, et S sont les

rhéostats placés dans les circuits J, A et T respectivement, et reliés aux interrupteurs respectifs U, V et W de manière que les rhéostats P, Q et S puissent être à volonté inclus ou exclus des circuits. Après que le circuit magnétique a été démagnétisé, les interrupteurs U, V et W sont fermés, et au moyen des rhéostats RT, RA, et RJ, les circuits magnétiques sont ajustés en rapport avec le point choisi comme devant être le bout de la boucle de l'hystérésis. En ouvrant simultanément V et W, introduisant de la sorte les résistances dans les circuits A et T, on observe le fléchissement du galvanomètre balistique, par l'interrupteur N sur a_1. Les interrupteurs V et W sont de nouveau fermés, et la résistance Q est ajustée jusqu'à ce que le galvanomètre marque zéro fléchissement avec N sur a_1, alors que V et W sont ouverts simultanément. Alors l'interrupteur N est jeté à j_1 et l'on règle la résistance P jusqu'à ce que le galvanomètre ne fléchisse plus à l'ouverture simultanée de W et U. Avant de prendre les relevés pour l'arrangement final de P, Q, et S, les interrupteurs U, V, et W sont fermés et les interrupteurs L et H renversés simultanément quelques fois pour amener le matériel à un état magnétique cyclique. N est alors envoyé à t_1 et l'on observe le changement de courant dans l'ampèremètre M, ainsi que la déclinaison du galvanomètre, lorsque les interrupteurs U, V et W sont ouverts. Le matériel est alors remis à son état magnétique, représenté par l'extrémité de la boucle de l'hystérésis, et l'on répète le même procédé en entier pour la partie inférieure de la boucle, et ce, jusqu'au point désiré pour obtenir la valeur positive de la force magnétique. Les changements de la force magnétique maximum, (i.d. de l'un ou l'autre de la boucle) à l'une des directions opposées, s'obtiennent en renversant simultanément les interrupteurs L et H, et en ouvrant les interrupteurs U, V et W. De cette manière, on a les points de toutes les parties de la boucle de l'hystérésis.

Calibrage du galvanomètre balistique.

Pour le calibrage du galvanomètre balistique on employa un solénoïde de dimensions et d'enroulements connus. Un second enroulement d'une quantité de tours connue et placé à la partie centrale du solénoïde était relié par séries au galvanomètre et à l'enroulement t, (voir fig. 6 et 7) Il fut relié au circuit durant toutes les opérations pour que la résistance du circuit galvanométrique demeurât constante. (Z représente la résistance du secondaire du solénoïde de calibrage). Ainsi, la déclinaison balistique du galvanomètre, due à un changement connu de l'influx résultant d'un changement connu du courant dans le solénoïde principal, peut être observée.

Méthode pour déterminer les résultats.

La force magnétique, dû à un courant donné passant par la bobine magnétique principale, est calculée d'après les tours du courant de cette bobine. La densité correspondante de l'influx dans le spécimen d'essai est approximativement égale à B^1—le produit de la déclinaison balistique et du constant du galvanomètre. La valeur de B^1 doit être corrigée pour l'influx qui s'échappe du secondaire, mais qui ne passe pas par le spécimen. La La valeur réelle de la densité de l'influx B en gauss est alors de—

$$B = B^1 - \frac{(a_2 - a_1)}{a_1} H,$$

dans laquelle a_1 représente la surface réelle de la section transversale du spécimen; a_2 celle de la bobine d'épreuve et H la force magnétique en gilberts par cm.

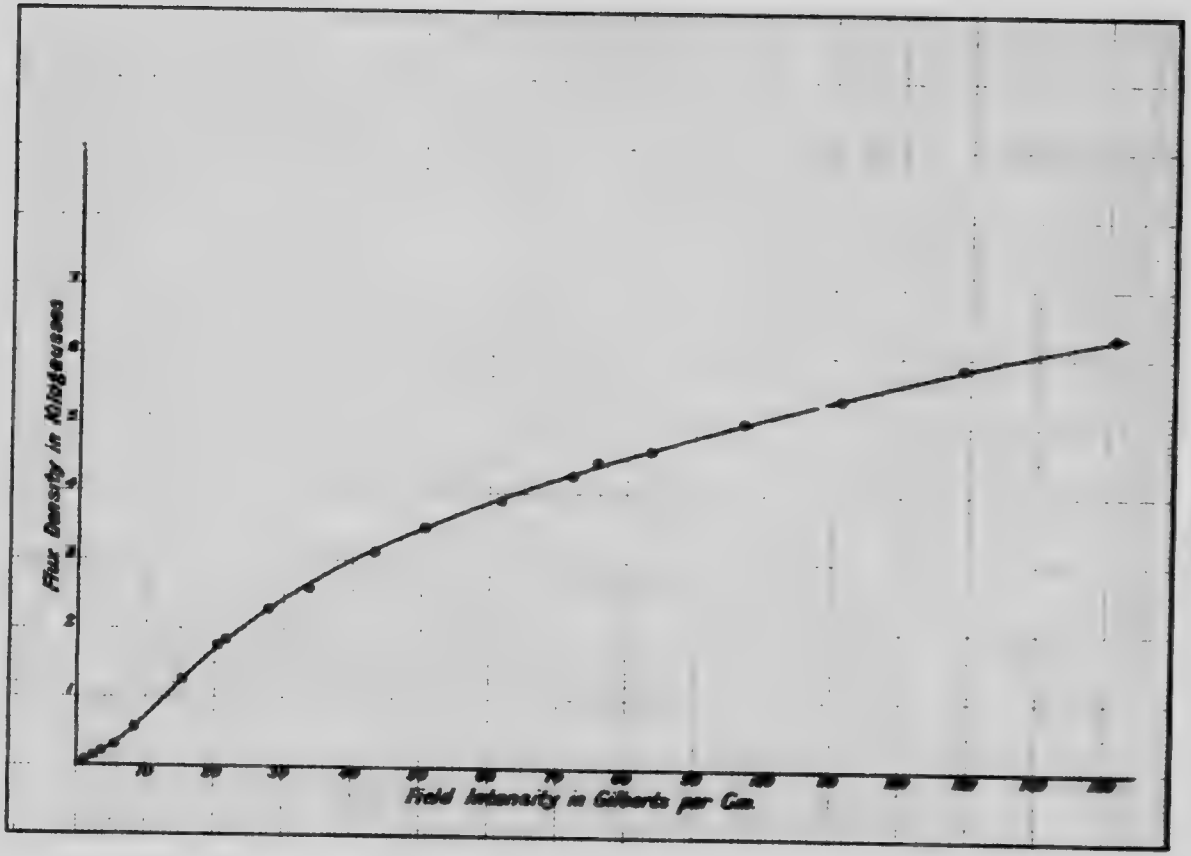


Fig. 8. B-H Curve for Pure Cobalt - Sample H 217

Fig. 8. Courbe B—H du cobalt pur. Échantillon H 217.

Suivent les données de ces observations sous forme de tableaux, ainsi que les valeurs calculées, avec signification des signes symboliques comme suit:—

I = Courant magnétique en ampères.
D = Déclinaisons galvanométriques en mms. à l'ouverture du circuit.
H = Intensité du champ en gilberts par cm.
B′ = Influx total par la bobine d'épreuve en gauss.
B″ = Influx passant par la bobine d'épreuve et non par le spécimen, en gauss.
B = Influx corrigé dans le spécimen, en gauss.
$\mu = \frac{B}{H}$ = La perméabilité magnétique du spécimen en unités c.g.s.

Données de l'expérience de perméabilité. (voir pl. 11, fig. 8).

Barre de cobalt N° 1 H. 217.

Juillet, 1914.

Mesurages		*Supputation*				
I Ampères	D mm.	H = 120 I	B′ = 155 D	B″ = 1·4 H	B = B′-B″	$\mu = \frac{B}{H}$
0·0102	0·2	1·2	30	0	30	25
0·0204	0·7	2·5	110	0	110	44
0·0304	1·2	3·7	190	10	180	49
0·0440	1·9	5·3	290	10	280	53
0·0680	3·4	8·2	530	10	520	63
0·1284	8·0	15·4	1240	20	1220	79
0·1720	11·4	20·7	1760	30	1730	84
0·1820	11·9	21·9	1840	30	1810	83
0·233	15·0	28·0	2330	40	2290	82
0·280	17·0	33·6	2630	50	2580	77
0·360	20·4	43·2	3160	60	3100	72
0·422	22·9	50·7	3550	70	3480	69
0·512	25·7	61·6	3980	90	3890	63
0·600	28·0	72·1	4340	100	4240	59
0·632	29·4	75·9	4560	110	4450	59
0·697	30·5	83·7	4730	120	4610	55
0·808	33·4	97·0	5180	140	5040	52
0·929	35·8	111·3	5550	160	5390	48
1·074	39·0	129·0	6050	180	5870	45
1·260	42·2	151·2	6550	210	6340	42

Données de l'expérience d'hystérésis (voir plan, fig. 9).

Suivent les données de ces observations sous forme de supputation, ainsi que les valeurs supputées, dans lesquelles les signes conventionnels ont la signification suivante:—

dI = Le changement dans le courant magnétique.
Defl = Le fléchissement du galvanomètre balistique en mms.
dH = Le changement dans l'intensité du champ en gilberts par cm.
dB′ = Le changement de l'influx total par la bobine d'essai en gauss.
dB″ = Le changement dans l'influx par la bobine d'essai et non par le spécimen en gauss.
dB = Le changement dans l'influx actuel par le spécimen en gauss.

Échantillon de Cobalt No. 1.

Juillet, 1914.

dI Amp.	Del mm.	dH = 120 d I.	dB′ = 308 D	dB″ = 1·4 dH′	dB = d(B′–B″)
0·250	1·9	30	590·	40	550
0·704	4·9	85	1510·	120·	1390
1·076	8·0	129	2460·	180	2280
1·464	11·9	176	3660·	250	3410
1·644	14·8	197	4560	280	4280
1·826	17·3	219	5320	310	5010
1·866	18·0	224	5540	310	5230
1·900	19·9	228	6120	320	5800
2·200	27·0	264	8320	370	7950
2·344	39·2	281	12180	390	11790
2·46	42·1	295	12980	410	12570
2·85	50·5	342·	15560	480	15080
3·22	55·3	386·	17030	540	16490
3·63	59·9	435·	18440	610	17830
3·86	62·0	464	19100	650	18450
4·12	64·9	495	19970	690	19280
4·40	66·5	529	20500	740	19760
0·286	2·0	34·	620·	50	570·
0·587	3·7	71·	1140·	100	1040
0·704	4·6	85·	1420	120	1300
0·864	5·9	104	1820	150	1670
1·028	7·3	123	2250	170	2080
1·242	9·3	149	2860	210	2650
1·422	11·3	171	3480	240	3240
1·640	14·1	197	4350	280	4070
1·962	19·8	236	6100	330	5770
1·930	18·9	232	5820	320	5500
2·200	26·0	264	8000	370	7630
2·404	40.0	289	12320	400	11920
2·292	21·1	275	9600	380	9220
2·520	43·0	302	13240	420	12820
2·738	48·0	329	14780	460	14320
3·044	52·3	366	16100	510	15590
3·346	56·0	401	17240	560	16680
3·616	58·6	434	18060	610	17450
3·904	61·2	46º	18860	670	18190
4·15	64·5	5ºº	19880	700	19180
4·40	66·5	529	20500	740	19760

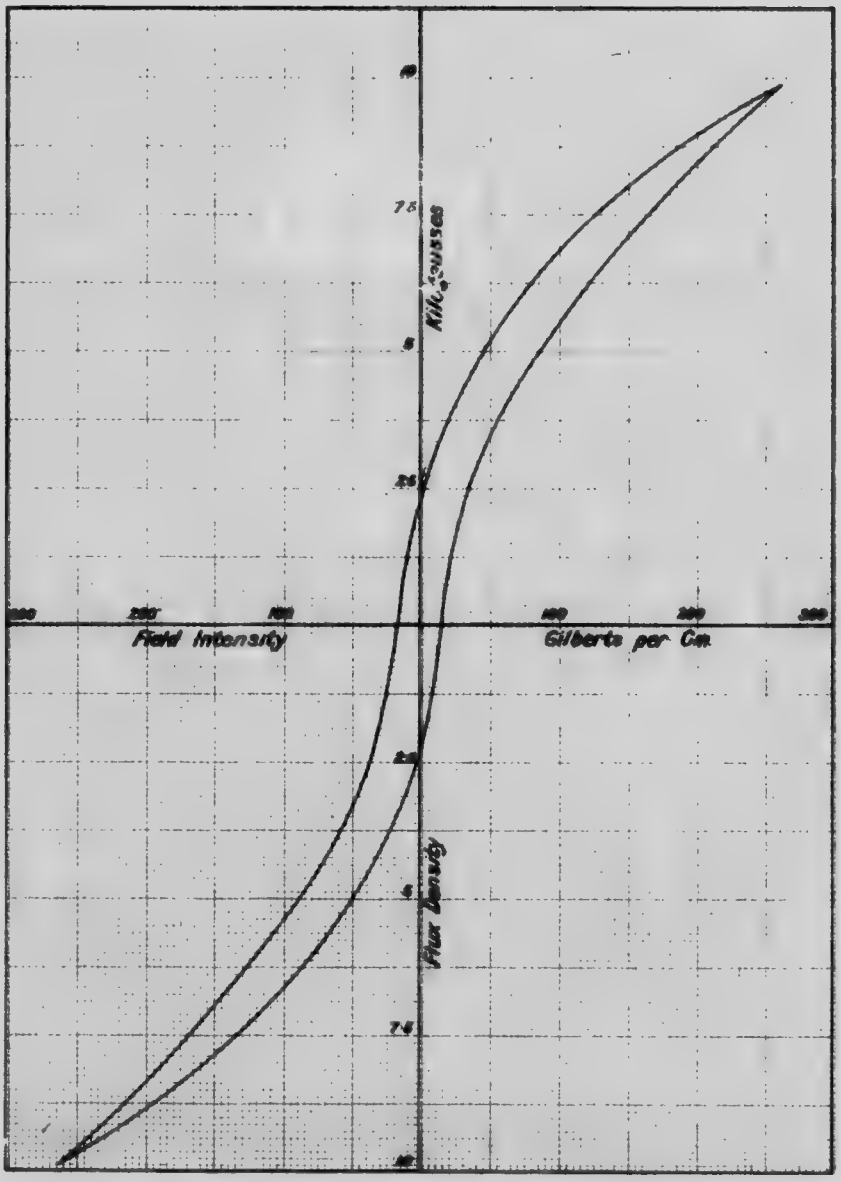


Fig. 9. Hysteresis Loop for Pure Cobalt - Sample H 217

Fig. 9. Boucle hystérésis du cobalt pur. Échantillon H 217.

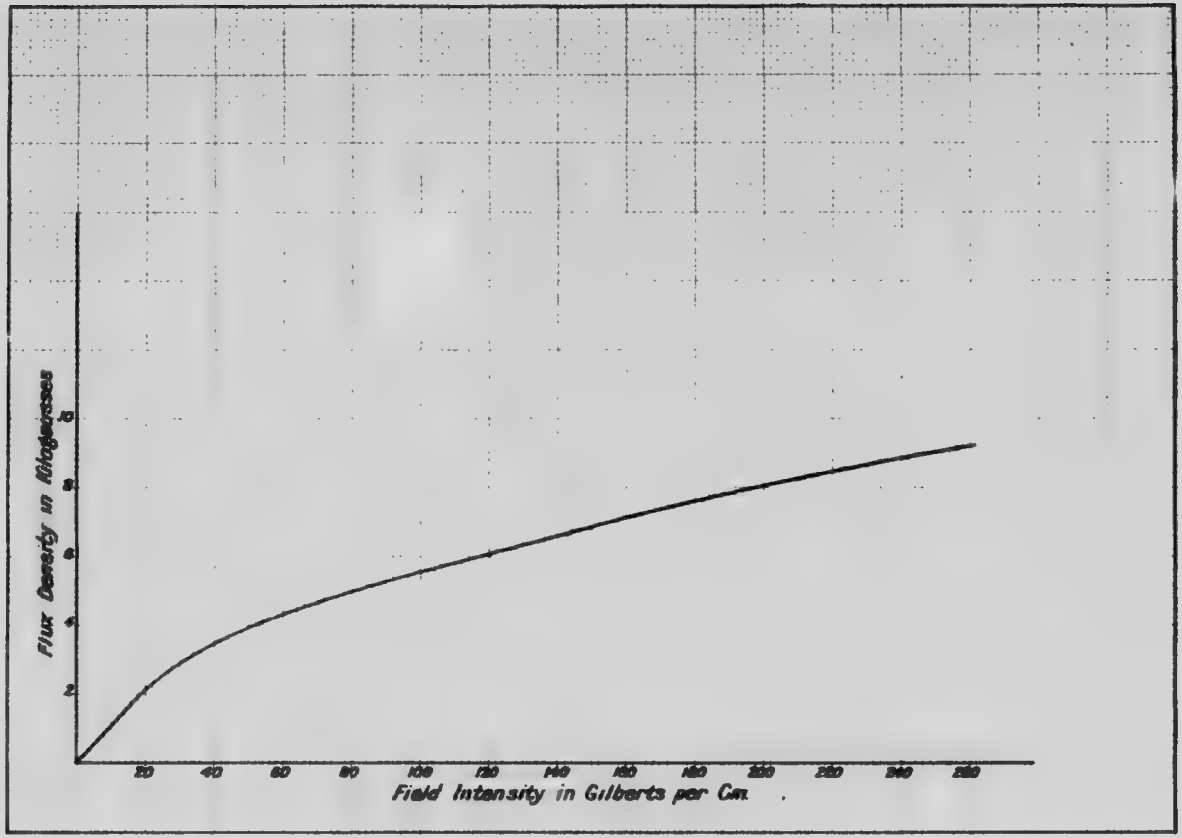


Fig. 10. B-H Curve tor Pure Cobalt - Sample H 217

Fig. 10. Courbe B—H du cobalt pur. Échantillon H 217.

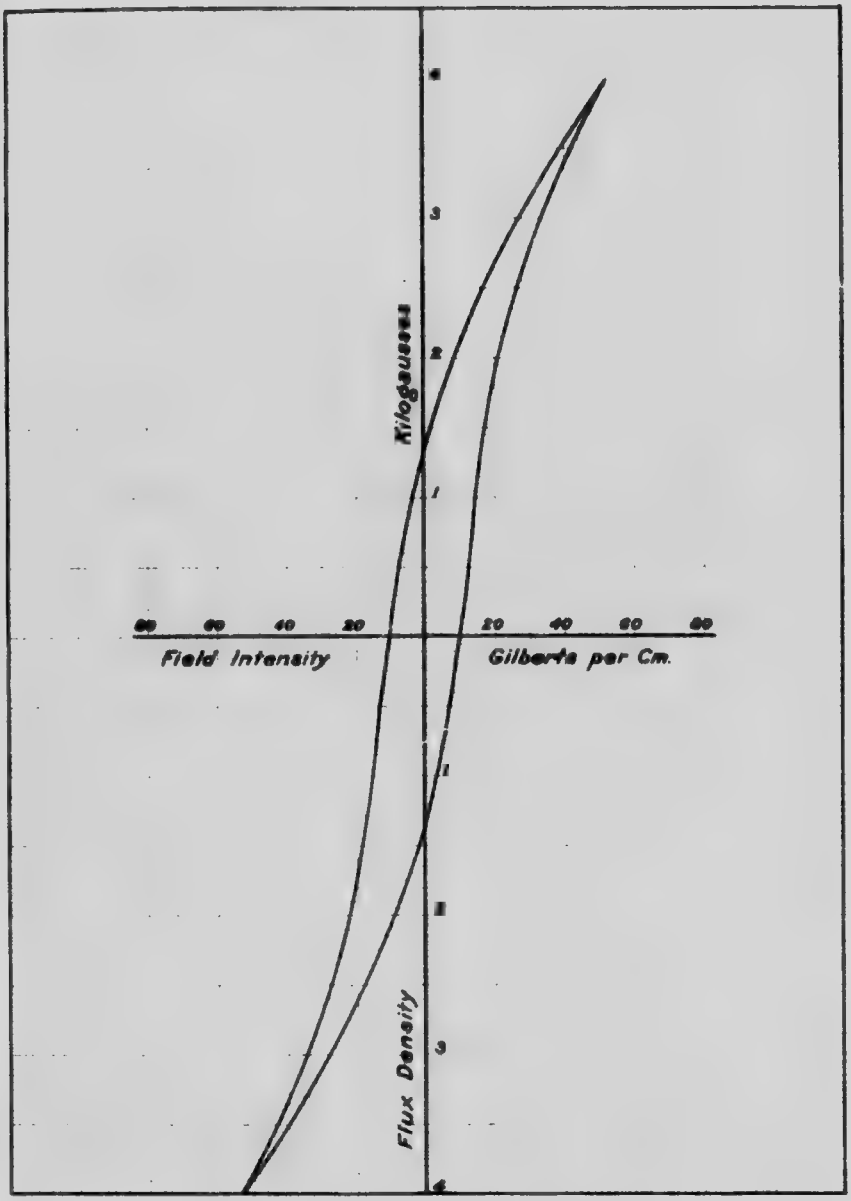


Fig. 11. Hysteresis Loop for Pure Cobalt - Sample H 217

Fig. 11. Boucle hystérésis du cobalt pur. Échantillon H 217.

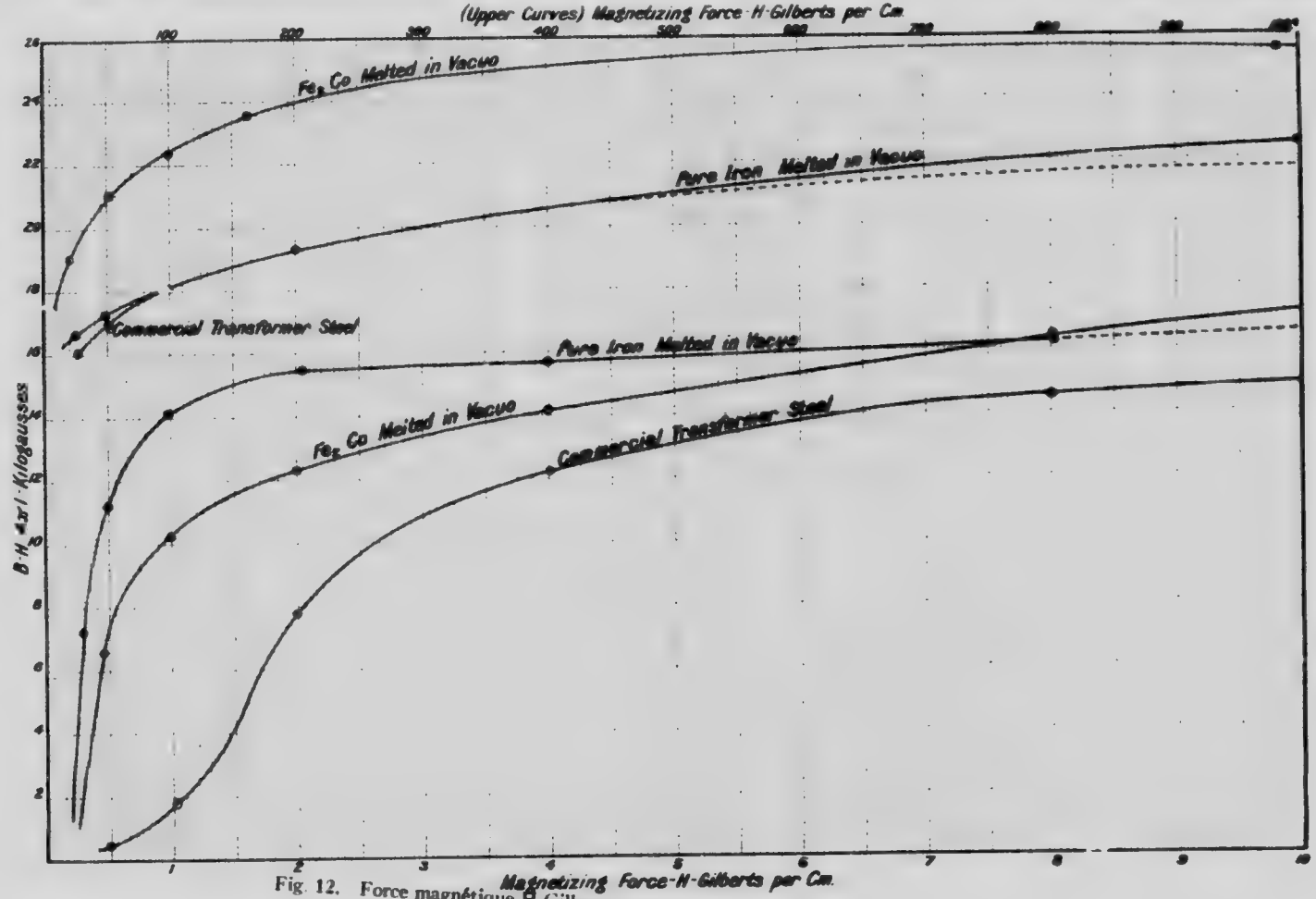


Fig. 12. Force magnétique-H-Gilberts par cm.

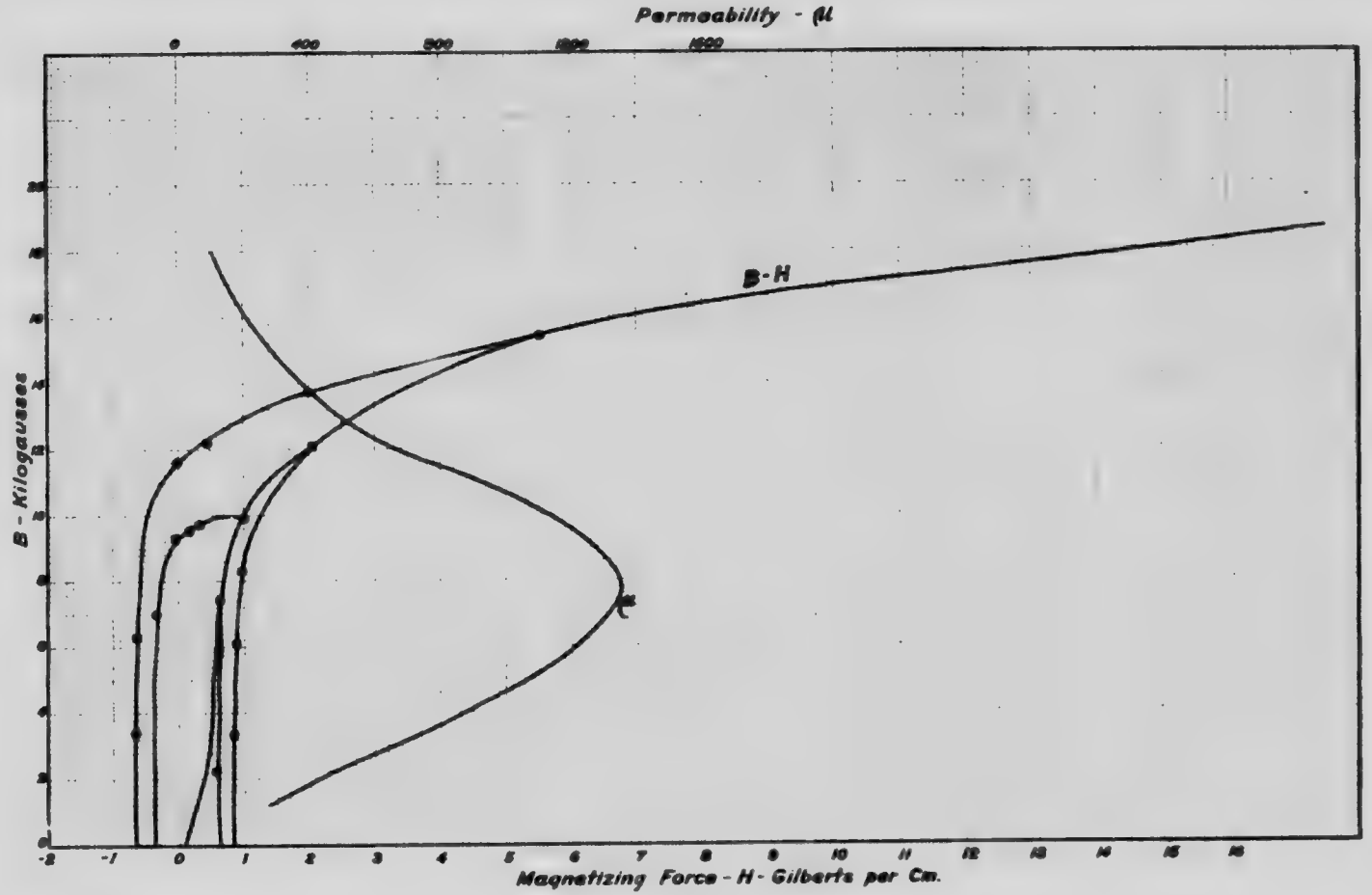


Fig. 13

Fig. 13. Force magnétique-H-Gilberts par cm.

MESURES DE PERMÉABILITÉ ET D'HYSTÉRÉSIS PRISES PAR L'AMERICAN ROLLING MILL CO., DE MIDDLETON, OHIO.

En plus des deux séries de mesurages ci-dessus, une troisième série a été faite par l'American Rolling Mill Company, Middleton, Ohio.

Ils se servirent d'un matériel identique à celui dont nous nous sommes servis dans la méthode I, c'est-à-dire, du cobalt pur H 217, barreau n° 2.

Sans donner toutes les valeurs numériques de leurs mesurages, les dessins qui suivent font voir les résultats.

L'ALLIAGE Fe_2Co.

Au cours de l'année 1912, des échantillons de l'alliage Fe_2Co furent préparés par nous à ce laboratoire, à même un lingot de fer américain, contenant moins de 0·1% d'impuretés totales et du cobalt de la formule indiquée à la page 3. L'alliage fut aussi préparé du fer électrolytique à un degré même de pureté plus grand et de cobalt de même analyse. Ces alliages donnèrent à l'analyse: cobalt 33·33% à cobalt 33·36%.

On éprouva une grande difficulté à couler cet alliage en barreau compact. De fait, nous n'avons encore pu couler cet alliage à aucun degré de régularité quant à la solidité et la structure. Au microscope la structure apparaît d'un fond clair, plus ou moins couvert de fissures microscopiques. Ces fissures ont plus ou moins de discontinuité. Toute la structure laisse soupçonner un manque de cohésion.

Plusieurs morceaux plus petits furent préparés dans le fourneau à vide électrique de Arsem et qui étaient particulièrement exempts de ces fissures. Ces échantillons, cependant, n'étaient pas de grosseur suffisante pour tourner des barreaux dont on pût faire les mesurages des propriétés magnétiques, selon les méthodes décrites ci-dessus. La microstructure ne donna aucune indication pourquoi cet alliage avait une valeur de saturation magnétique plus grande que celle du fer pur, mais le fait pouvait être aisément constaté au moyen d'un simple petit aimant ordinaire. Ainsi cet aimant ordinaire pouvait lever de plus gros morceaux de cet alliage que de fer pur.

On fit un mesurage préliminaire de la valeur de saturation magnétique et [illegible] perméabilité magnétique en champs moyens, qui montra que l'alliage avait une valeur de saturation magnétique à peu près 10% plus grande que celle du fer pur, et une perméabilité en champs d'environ 100 gilberts par cm., de 15% plus grande que celle du fer pur.

Au point de vue mécanique l'alliage était peu satisfaisant, étant cassant quoiqu'assez fort. On a pu le forger, après quoi il était considérablement plus fort que le fer pur. Chauffé, l'alliage Fe_2Co avait à peu près la même résistance à la traction que le fer pur.

Au cours de ces recherches, alors même que nous éprouvions beaucoup de difficultés à préparer de bonnes pièces de fonte, apparut une étude du Dr P. Weiss, Zurich, 1912, dans laquelle on décrivait la valeur de saturation magnétique de Fe_2Co comme étant de 10% plus grande que celle du fer pur. Le Dr Weiss établit certains avantages industriels de cet alliage sur tout autre matière en usage, dont il se proposait de faire une étude plus tard. À cause de cela, et, par suite aussi des difficultés à préparer cet alliage, nos recherches sur cet alliage en particulier furent plus ou moins dérangées, par des recherches sur la galvanoplastie par le cobalt, et aussi par d'autres expériences, faites dans le but d'augmenter l'importance industrielle du métal de cobalt, telles que demontrées dans les autres études de cette série. Nos observations étaient cependant suffisamment précises

pour être certain, que si, l'on obtenait une fonte pressée, la valeur de saturation magnétique serait d'environ 10% plus ande pour Fe_2Co que pour le fer pur; et que, en champs moyens, la perméabilité maximum était très élevée comparée à celle du fer pur.

Plus récemment apparut un article par Trygve D. Yensen, décrivant les expériences faites à la Engineering Experiment Station, à l'Université de l'Illinois, et intitulé: "The Iron Cobalt Alloy, Fe_2Co, and Its Magnetic Properties."[1] Puisque les observations continues dans l'article de Mr Yensen sont plus complètes que les nôtres, et spécialement en vue du fait que les nôtres propres leur sont substantiellement identiques sous tous rapports, nous reviserons les données de cet article, dans ce qui suit, en posant nos propres résultats; et tenant compte de ce dont nous sommes redevable à Mr Yensen.

L'expérimentation magnétique a été faite suivant la méthode Burrows[2] décrite au début de cette étude pour les mesurages du cobalt pur. Les données sont établies dans les courbes magnétiques suivantes (figure 12) qui sont données pour l'acier transformeur type, le fer pur par comparaison, aussi bien que pour l'alliage Fe_2Co; aussi une courbe prise dans l'étude de Mr Yensen, (figure 13) montrant la boucle d'hystérésis pour l'alliage Fe_2Co est ici reproduite. Il est particulièrement important de remarquer que la courbe magnétique pour Fe_2Co traverse celle du fer pur à une force magnétique approximative de 8 gilberts par cm. et que, pour un champ de 50 gilberts par cm. à 200 gilberts par cm., son magnétisme est approximativement de 25% plus haut que celui du fer pur; tandis que sa valeur de saturation magnétique est de 10% à 13% plus grande que celle du fer pur.

La perte hystérésique est aussi basse, ou plus basse que celle des différentes marques commerciales du fer.

Certains avantages commerciaux d'un tel matériel, supposé qu'il puisse être coulé et travaillé convenablement, sont plus ou moins évidents. Mr Yensen en fait une intéressante application comme suit:—

"Son importance capitale, cependant re,ose dans sa perméabilité magnétique à densités élevées. Ici un accroissement de 25%, avec une faible perte hystérésique représente une qualité fort désirable, par exemple, pour les dents d'une armature d'une machine dynamo, où la densité est toujours très élevée. Sans entrer dans le détail, quelques considérations éclaiciront ce sujet. En augmentant de 25% la densité dans les dents, (ce qui est faisable en se servant de Fe_2Co,) on peut raccourcir l'armature dans la proportion correspondante. Comme l'augmentation de densité dans la couche d'air, cette dernière peut être diminuée de manière à conserver les tours ampère du champ pour la couche d'air et les dents comme auparavant. Bien plus, le diamètre intérieur du cœur de l'armature peut être élargi de façon à donner une coupe transversale plus petite de la paroi cylindrique. La réduction de l'armature réduit aussi les pièces de pôles, et si l'on se sert d'un alliage de haute perméabilité dans le circuit magnétique du champ aussi bien que dans l'armature, la coupe transversale du cœur et du bâti du champ peut aussi être réduite. De l'argument ci-dessus, il suit, que l'armature, en outre de requérir moins de fer, demandera aussi moins de cuivre; et les bobines du champ, tout en contenant le même nombre de tours ampère qu'avant, demanderont aussi moins de cuivre. La réduction totale du fer et du cuivre peut s'élever ainsi jusqu'à 25% pour chacun. Passant de la quantité du matériel requis, aux déperditions de l'énergie dans la machine, l'on voit tout de suite que la perte de I^2R est réduite en proportion directe de la réduction dans le cuivre employé. Bien plus, la perte hystérésique étant plus faible par livre pour l'alliage Fe_2Co que pour le fer ordinaire, et que la perte par le remous est à peu près la même, la perte totale du cylindre devrait être considérablement moindre que celle avec le fer ordinaire, malgré l'augmentation de la densité. Ainsi, il devrait être possible avec de l'alliage ferro-cobalt de construire des machines dynamo considérablement plus légères qu'à présent, et d'une plus grande capacité."

---

[1] General Electric Review, Sept, 1915.
[2] Voir page 6.

Sommaire et Conclusions.

On peut résumer comme suit les résultats généraux de ces recherches sur le Fe_2Co.

1. Nous n'avons pu couler le Fe_2Co en lingots pressés, qu'avec difficulté, les microphotographies, montrant que la plupart des fontes préparées par nous manquaient de cohésion, et étaient traversées de fissures extrêmement fines.

2. Au point de vue mécanique, l'alliage est cassant mais passablement fort; une fois chauffés, les échantillons montrent approximativement la même force flexible ultime que le fer pur.

3. L'alliage Fe_2Co peut être forgé avec une grande facilité, après quoi il est doublement plus résistant que le fer pur.

4. L'alliage de ferro-cobalt Fe_2Co possède une capacité de saturation de 10% à 13% plus grande que celle du fer pur. Nul doute, que ce dernier pourcentage est le plus correct, ayant été obtenu d'échantillons préparés dans le fourneau à vide, et étant pratiquement exempts de traces de manque de cohésion.

5. Les meilleures fontes montrent une perméabilité maximum approchant 13,000 à une densité de 8,000 gauss. C'est une baisse considérable sur la valeur correspondante pour le fer pur, mais une hausse très forte sur l'acier transformable usuel et les autres matières commerciales.

6. La plus importante propriété magnétique de l'alliage Fe_2Co, c'est sa perméabilité en champs moyens, c'est-à-dire, sa puissance magnétique de 50 à 200 gilberts par cm. Entre ces chiffres, la perméabilité de Fe_2Co est approximativement de 25% plus grande que celle du fer pur, ou de tous les degrés de l'acier transformable et du fer.

7. La perte hystérésique de l'alliage Fe_2Co est considérablement moindre que pour les meilleures espèces d'acier transformable dans le commerce à la densité de 10,000 gauss, elle est à peu près la même que pour le fer commercial à densité correspondante, soit 15,000 gauss.

8. Mr Yensen affirme que la résistance électrique spécifique de Fe_2Co est d'environ 10 microhms; soit à peu près la même que pour le fer pur. (On n'a fait dans ce laboratoire aucun mesurage de la résistance électrique de cet alliage.)

9. Ces propriétés magnétiques de l'alliage Fe_2Co devraient le rendre d'une grande valeur pour les pièces de machineries électro-magnétiques, lesquelles demandent une extrême densité magnétique.